

UOT 637.133.3:637.07

AKTİNİZASIYA QURĞUSUNDA SÜDÜN PASTERİZASIYA PROSESİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

T.H.BAYRAMOV

AKTN "Aqromexanika" ET İnstitutu

Südün aktinizatorda infraqırmızı şüalanma təsiri ilə pasterizasiya prosesinin riyazi modeli qurulmuşdur. Konstruktiv sxem olaraq qızdırıcı element kimi bir-biri ilə əlaqələndirilmiş kvars kolba üzərinə çəkilmiş cərəyan keçirən metal təbəqədən ibarətdir. Cərəyan keçirən təbəqənin həlqəvi elementini seçərək iş şəraiti üçün elektrik müqavimətinin riyazi ifadəsi verilmişdir. Cərəyan keçirən təbəqənin elementar parçası üçün istilik balans qurulmuş, istilikvermə əmsalının südün sistemdə axım rejimindən asılılıq tənlkləri tərtib edilmişdir. Təqdim olunmuş riyazi model və hesabat metodikası südün infraqırmızı pasterizasiya prosesi üzrə proqnoz etmək və aktinizatorun mühəndis hesablarını aparmağa imkan verir.

Açar sözlər: Süd, pasterizasiya, infraqırmızı şüalanma, qızdırıcı element, kinetik qanunauyğunluqlar, elektrik müqaviməti, istilikvermə, elektrik gücü.

Ölkənin süd və süd məhsullarına olan tələbatını tez və düzgün həll etmək üçün nəinki ümumi süd istehsal həcmi artırmaq, eyni zamanda istehsal olunmuş məhsulun tam və məqsəduyğun şəkildə istifadə olunmasına və xüsusi olaraq azaldılmasına nail olmaq lazımdır.

Hazırda bu sahənin inkişafı südün tərkibində bioloji dəyərli maddələrin və onun orqanoleptik keyfiyyətinin maksimum qorunması üçün yeni, ənənəvi olmayan, səmərəli bakterisid texnologiyaların işlənməsi və tətbiqini tələb edir. Bu baxımdan son zamanlar süd istehsal edilən təsərrüfatlarda südün istiliklə işlənmə keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması daha çox diqqəti cəlb etməkdədir [1].

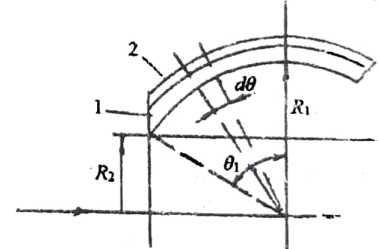
Söz yox ki, südün istiliklə işlənməsinin müvəffəqiyyətli həlli ona təsir üsulu və rejimindən, həmçinin prosesin həyata keçirilməsi üçün lazım gələn enerji sərfindən asılıdır. Bu baxımdan südün aktinizasiya qurğusunda infraqırmızı (İQ) pasterizasiya üsulu ilə termiki işlənmə şəraitinin istənilən keyfiyyətdə məhsul alınmasına təsirinin model şəklində təsviri bu prosesin əsas fiziki qanunauyğunluğunu qiymətləndirməyə və dərinlən öyrənməyə imkan verə bilər.

Bu məqsədlə ardıcıl qoyulmuş və üzərinə cərəyan keçirən nazik metal təbəqə çəkilmiş kvars kolba konstruksiyalı qızdırıcıları tədqiqat obyektı olaraq gözdən keçiririk. Südün qızması nazik cərəyan keçirən laydan cərəyan keçməsi ilə baş verir. Cərəyan keçirən təbəqənin xətti müqaviməti (közərmə uzunluğu vahidinə düşən) sistemin dar yerində enli yerinə nəzərən çox olduğundan, cərəyan keçirən layın istilikverməsi və temperaturu həmçinin sistemin dar yerində enli yerinə nəzərən çox olacaqdır. Odur ki, qızdırıcı elementdən keçən südün qızması assimilyasiya rejimində baş verir ki, bu da süddə olan termolabil maddələrin maksimum mühafizəsini təmin edir [2]. Bundan başqa dəyişən en

kəsikli kanallarda mayeyə istilikvermə əmsalı sabit en kəsikli kanalda olduğundan 1,5-2 dəfə çox olur [3].

Hər kolbada südün sirkulyasiyalı hərəkəti cərəyan edir ki, bu da kolbaların birləşdikləri dar yerdə istilikvermə əmsalının əlavə olaraq artmasına, həmçinin südün infraqırmızı şüa ilə daha bərabər şüalanmasına səbəb olur.

Ayrıca götürülmüş kolbaşəkilli qızdırıcı elementdə südün qızma prosesini nəzərdən keçiririk (şəkil).



Şəkil. Qızdırıcı elementin fraqmenti:
1- kvars şüşə; 2-cərəyan keçirən təbəqə.

Məsələyə sferik koordinat sistemində baxırıq. Məsələnin mərkəzi oxa nəzərən simmetrik olduğunu və həmçinin hər seksiyada temperaturun az artmasını (3-5° C-dən çox artmamasını) qəbul edirik. Hesab etmək olar ki, cərəyan keçirən təbəqənin temperaturu yalnız θ bucağından asılıdır. Bu bucağın hədd qiyməti aşağıdakı kimidir:

$$\theta_1 = \arccos \left(\frac{R_2}{R_1} \right), \quad (1)$$

burada R_1 – qızdırıcı elementin daxili radiusu, m;
 R_2 – elementləri birləşdirən dəyişin radiusu, m.

Cərəyan keçirən təbəqənin həlqəvi elementini ($d\theta$) seçib iş şəraiti üçün onun elektrik müqavimətini müəyyən edirik:

$$dR_{\theta} = \rho_{eo} [1 + \alpha_R (T - T_0)] \frac{R_1 d\theta}{R_2 \cos \theta \delta_{\theta}}, \quad (2)$$

burada $\rho_{eo} = T_0$ temperaturda cərəyan keçirən təbəqənin xüsusi elektrik müqaviməti, Om;

α_R - cərəyan keçirən təbəqənin müqavimətinin temperatur əmsali, W/m^2K ;

T - cərəyan keçirən təbəqənin işçi temperaturu, K ;

δ_c - cərəyan keçirən təbəqənin qalınlığı, m .

$d\theta$ elementində cərəyan gücü

$$dN = J^2 dR, \quad (3)$$

burada J - cərəyan şiddəti, A .

(2)-yə əsasən alırıq:

$$dN = A[1 + \alpha_R(T - T_0)] \frac{d\theta}{\cos \theta}, \quad (4)$$

$$\text{burada } A = \frac{J^2 \rho_{eo}}{\delta_c}.$$

Qiymətlərə uyğun olaraq qalınlığı δ_c olan cərəyan keçirən təbəqədə cərəyanın gücünə bərabərdir. Uzunluğu və eni T_0 temperaturda $1\ m$ təşkil edir. Bu kəmiyyəti bundan sonra gətirilmiş güc adlandırırıq.

Pasterizatorun istismarı zamanı cərəyan gücü N məlun olduğundan (cihazlarla ölçülür) A kəmiyyəti aşağıdakı kimi təyin edilə bilər:

$$N = \int_{-\theta_1}^{\theta_1} A[1 + \alpha_R(T - T_0)] \frac{d\theta}{\cos \theta}, \quad (6)$$

$$A = \frac{N}{\int_{-\theta_1}^{\theta_1} [1 + \alpha_R(T - T_0)] \frac{d\theta}{\cos \theta}} \quad (7)$$

Əgər cərəyan keçirən təbəqənin elektrik müqaviməti temperaturdan asılı deyilsə ($\alpha_R=0$), o zaman (7) düsturundan alırıq:

$$A = \frac{N}{\ln \frac{1 + \sin \theta_1}{1 - \sin \theta_1}} \quad (8)$$

Əks halda (7) düsturunun məxrəcindəki integral cərəyan keçirən təbəqənin temperaturunun paylanması $T(\theta)$ aydınlaşdırıldıqdan sonra müəyyən edilir.

Cərəyan keçirən təbəqənin elementi $d\theta$ üçün istilik balansını tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$dN = [\alpha_h(T - T_h) + \sigma \epsilon_h(T^4 - T_h^4) + k_s(T - T_s) + \sigma \epsilon_s(T - T_s^4)] dF, \quad (9)$$

burada α_h - cərəyan keçirici təbəqədən havaya istilikvermə əmsali;

T_h - havanın mütləq temperaturu, K ;

σ - Stefan-Boltsman sabiti, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$;

ϵ_h - hava tərəfdən cərəyan keçirən təbəqənin qaralıq dərəcəsi;

k_s - "cərəyan keçirən təbəqədə - süd" parçasında istilik ötürmə əmsali;

T_s - südün mütləq temperaturu, K ;

ϵ_s - süd tərəfdən cərəyan keçirən təbəqənin qaralıq dərəcəsi.

$$k_s = \frac{1}{\frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_s}}, \quad (10)$$

burada δ_s - kolba divarının qalınlığı, m ;

λ_c - kolba materialının istilikkeçirmə əmsali, W/mK ;

α_c - kolbanın daxili səthindən südə istilikvermə əmsali, W/m^2K .

$$dF = 2\pi R_1^2 \cos \theta d\theta, \quad (11)$$

burada dF - parçanın elementar sahəsi, m^2 .

Bunu (11)-də nəzərə alaraq, (4) və (9)-u bərabərləşdirməklə alırıq:

$$A \frac{[1 + \alpha_R(T - T_0)]}{\cos \theta} d\theta = [\alpha_h(T - T_h) + \sigma \epsilon_h(T^4 - T_h^4) + k_s(T - T_s) + \sigma \epsilon_s(T - T_s^4)] 2\pi R_1^2 \cos \theta d\theta, \quad (12)$$

Çevirmələr etdikdən sonra isə alırıq:

$$\frac{A[1 + \alpha_R(T - T_0)]}{2\pi R_1^2 \cos^2 \theta} d\theta = \alpha_h(T - T_h) + \sigma \epsilon_h(T^4 - T_h^4) + k_s(T - T_s) + \sigma \epsilon_s(T - T_s^4). \quad (13)$$

Kolbanın daxiki səthindən istilikvermə əmsali südün axma rejimindən asılı olaraq müəyyən edilir [4, 5]:

Laminar rejimdə ($Re < 2300$)

$$Nu = 0,15 Re^{0,32} Pr^{0,33} (Gr Pr)^{0,1}, \quad (14)$$

Turbulent rejimdə isə ($Re > 2300$)

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (15)$$

burada $Nu = \frac{\alpha_s' d_{or}}{\lambda_s}$ - Nusselt ədədi; α_s' - sabit

en kəsikli boruda südə istilikvermə əmsali, W/m^2K ; $d_{or} = R_{11} + R_{12}$ - kanalın orta diametri; λ_s - südün istilikkeçirmə əmsali, W/mK ; $Re = \frac{\nu d_{or}}{\nu_s}$ - süd üçün

Reynolds ədədi; $Pr = \frac{\nu_s c_s \rho_s}{\lambda_s}$ - Prandtl ədədi; c_s -

südün istilik tutumu, $Coul/kqK$; ρ_s - südün sıxlığı, kq/m^3 ; $Gr = \frac{g d_{or}^3}{\nu_s^2} \beta_s (T_c - T_s)$ - Qrasqof ədədi, $g = 9,81$

m/san^2 - sərbəst düşmə əmsali; β_s - südün genişlənməsinin temperatur əmsali; T_c - kolbanın daxili səthinin temperaturu, K .

Tapılmış istilikvermə əmsalının α_s qiyməti kanalın dalğavariliyi nəzərə alınmaqla korrektirovka olunur:

$$\alpha_s' = \epsilon' \alpha_s, \quad (16)$$

burada $\epsilon' = 1,5 \dots 2$ - əlavə olaraq turbulizasiyanı nəzərə alan düzəliş əmsali [6].

Cərəyan keçirən təbəqədən südə verilən istilik axınının cəmi aşağıdakı kimi tapılır:

$$Q_s = \int_{-\theta_1}^{\theta} [k_s(T - T_s) + \sigma \epsilon_s(T^4 - T_h^4)] 2\pi R_1 \cos \theta d\theta. \quad (17)$$

Cərəyan keçirən təbəqədə ümumi istilik ayrılması onun elektrik gücünə bərabər olur. Verilmiş gətirilmiş gücdə A , elektrik gücü N aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$N = A \int_{-\theta_1}^{\theta} \frac{1 + \alpha_R(T - T_0)}{\cos \theta} d\theta. \quad (18)$$

Qızdırıcı elementin faydalı iş əmsali (f.i.ə.) isə:

$$\eta = \frac{Q_s}{N}. \quad (19)$$

Kolbanın çıxışında südün son temperaturu aşağıdakı kimi olur:

$$T_s'' = T_s' + \frac{Q_s}{c_s \sigma_s}. \quad (20)$$

Pasterizatorun məhsulun keyfiyyətini müəyyən edən vacib parametri kolbanın daxili səthinin temperaturudur (T_c). Onun həddindən artıq qiymətinin

olması südün yanmasına, termolabil maddələrin parçalanmasına səbəb olur.

Kolbanın daxili səthinin temperaturu T_c konvektiv istilik axını üçün istilik balans şərtindən tapılır:

$$k_s(T - T_s) = \alpha_s(T_c - T_s); \quad (21)$$

$$T_c = T_s + \frac{k_s(T - T_s)}{\alpha_s} \quad (22)$$

Südün infraqırmızı pasterizasiya prosesinin məşinli hesabat alqoritmi aşağıdakı kimi realizə edilə bilər. θ_1 bucağının həddü qiymətləri (1) düsturu ilə təyin edilir. Elektrik gücünün N təxmini qiymətini aşağıdakı düsturla hesablamaq mümkündür:

$$N = A \ln \frac{1 + \sin \theta_1}{1 - \sin \theta_1} \quad (23)$$

Kanalın orta diametri üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

$$d_{or} = R_1 + R_2 \quad (24)$$

Südün orta axma sürəti aşağıdakı kimidir:

$$v = \frac{4G_s}{\pi d_{or}^2 \rho_s} \quad (25)$$

burada G_s – pasterizatorun saatlıq məhsuldarlığıdır, kq/saat.

Süd üçün Reynolds ədədi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Re = \frac{v d_{or}}{\nu_s} \quad (26)$$

burada ν_s – südün kinematik özlülüyü, m^2/san .

Süd üçün Prandtl ədədi isə aşağıdakı kimidir:

$$Pr = \frac{\nu_s c_s \rho_s}{\lambda_s} \quad (27)$$

burada λ_s – istilikkeçirmə əmsalı, W/mK.

Cərəyan keçirən təbəqədən südə verilən istilik axımını (17) düsturunun ədədi inteqrallaşdırılması ilə həyata keçirilir. (19), (20) düsturları isə pasterizatorun qızdırıcı elementlərinin faydalı iş əmsalı və bir kolbadan keçən südün son temperaturu müəyyən edilir.

Təqdim olunmuş riyazi model və hesabat metodikası südün infraqırmızı pasterizasiya prosesi üzrə proqnoz etmək və aktinizatorun mühəndis hesabətını aparmağa imkan yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Məmmədov Q.B. Sağım və südün emalında texnologiyalar və innovasiyalar. Bakı, 2015, 534 s.
2. Давидов В.В. Методика получения рациональных осциллирующих режимов обезживания пищевых продуктов / Вестник Астраханского государственного технического университета. Астрахань, 2004, №1, с. 244-251.
3. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 240с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.; Энергоиздат, 1981, 416 с.
5. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С.М.Гребенюк, Н.С.Михеева, Ю.П.Грачев и др. – М.: Агропромиздат, 1987, 304 с.
6. Кухтинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1989, 520 с.

Моделирование процесса пастеризации молока на актинизаторе

Т.Х.Байрамов

Построена математическая модель процесса пастеризации молока на актинизаторе воздействием инфракрасных лучей. В качестве конструктивной схемы нагревательного элемента принята система соединенных друг с другом кварцевых сосудов. Теплоизлучающим органом является нанесенный на кварцевую поверхность теплоноситель. Составлен тепловой баланс для элементарного участка токонесущего слоя, установлена зависимость между режимом протекания в системе молока и теплоотдачей нагревательных элементов. Представленная математическая модель и методика расчета параметров пастеризационного процесса позволит вести инженерный расчет актинизаторов для молока.

Ключевые слова: Молоко, пастеризация, инфракрасное излучение, нагревательный элемент, кинетическая закономерность, электросопротивление, теплоотдача, электрическая мощность.

Modeling of milk pasteurization process on the actinizer

T.H.Bayramov

A mathematical model of the process of milk pasteurization on the actinizer by infrared rays has been constructed. As a structural scheme of the heating element, a system of quartz vessels connected to each other is adopted. The heat of the radiating organ is the carrier layer applied to the quartz surface. The heat balance for the elementary section of the current of the carrier layer is made, the relationship between the flow regime in the milk system and the heat transfer of the heating elements is established. The presented mathematical model and the methodology for calculating the parameters of the pasteurization process will allow the engineering calculation of actinizers for milk.

Key words: Milk, pasteurization, infrared radiation, heating element, kinetic regularity, electrical resistivity, heat transfer, electric power.